

Présentation de la monographie de Kauffmann, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, sur la « Loire sauvage » entre la Maine et Nantes au début du XX^{ème} siècle

Source : *La Loire et le port de Nantes, Annales des Ponts et Chaussée de 1915, tome V*

Cette monographie donne des informations précieuses fondées sur les observations de l'époque sur les caractéristiques de la Loire dite « sauvage » avant sa chenalisation pour la navigation à partir de 1904.

Voici quelques extraits de la monographie décrivant la Loire « sauvage » de cette époque relativement proche et une synthèse des principales informations sur le fonctionnement du fleuve pouvant être exploitées pour rééquilibrer le fleuve d'aujourd'hui..

1 – Extraits de la monographie

Débits et cotes moyennes en 1900

«... Le débit à l'étiage est très faible, puisqu'il peut tomber à 130 mètres cubes par seconde environ à l'aval de la Maine.

Au contraire, le débit en grande crue est considérable, à cause de la surface de son bassin versant.

Annuellement, le niveau des eaux est, en moyenne, à l'échelle de Monjean :

- Au-dessous de 0 pendant 18 jours ; 5% des jours de l'année
- Entre 0 et 1 m. pendant 135 jours ; 37 %
- Entre 1 m. et 2 m. pendant 113 jours ; 31 %
- Entre 2 m. et 5 m. pendant 79 jours ; 21 %
- Au-dessus de 5 m. pendant 21 jours.» 6 %

Le lit d'étiage : mouilles, seuils et sinuosités

« Le lit d'étiage serpente entre les berges du lit moyen. Il est composé par une série de mouilles très souvent accolées aux berges, se succédant en alternant d'une rive à l'autre, et séparées par des seuils en sable plus ou moins gros, dont les parties hautes, qui émergent en basses eaux, constituent ce qu'on appelle les grèves de la Loire.

Les maigres forment de longues écharpes présentant, sur la direction de l'axe du lit moyen, une inclinaison qui est généralement de 20 à 25°, qui ne dépasse jamais 40° et qui parfois descend jusqu'à 10°. Par suite de cette obliquité, leur longueur est toujours considérable... ; elle arrive ainsi souvent à 1500 m et atteint quelquefois jusqu'à 2500 m.»

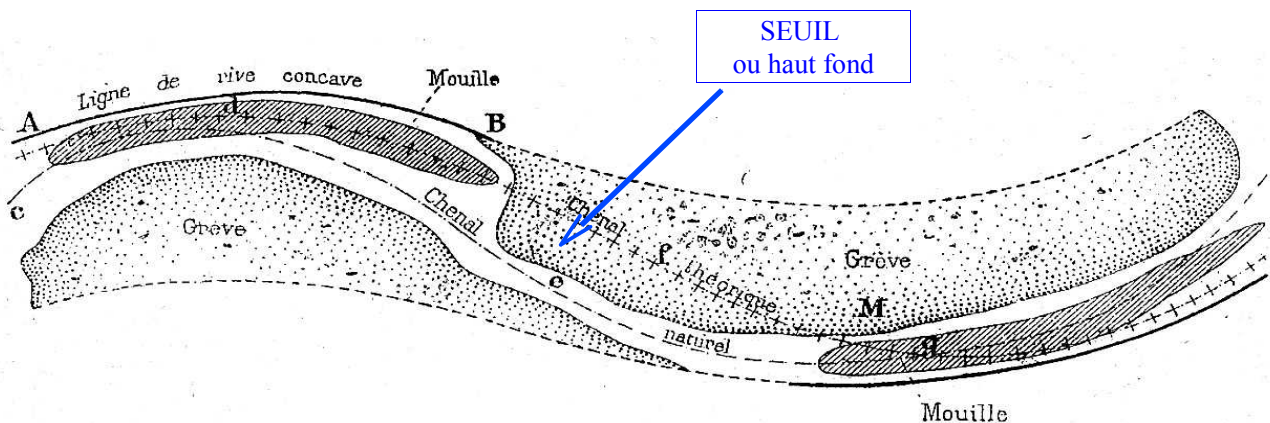
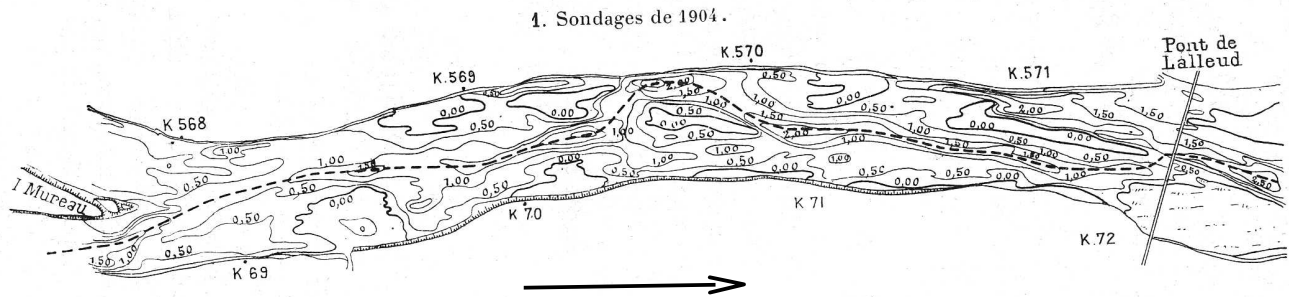


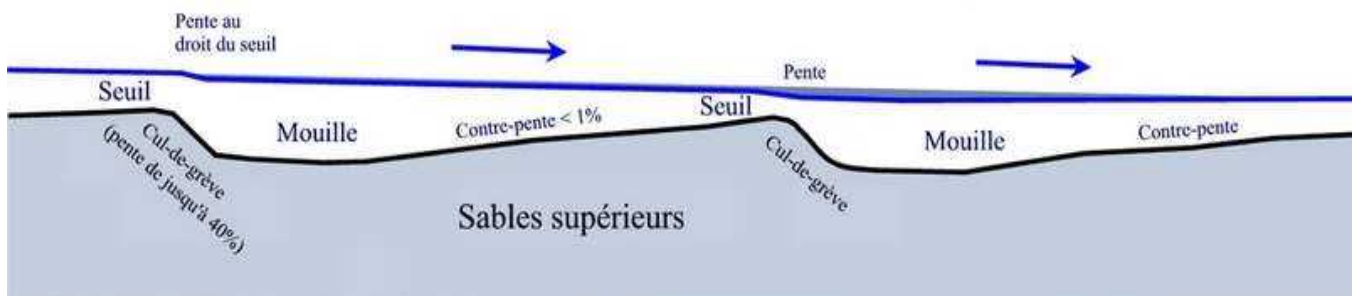
Fig. 30.

« **Le talweg (le point bas du chenal) passe d'une mouille à l'autre en traversant les seuils. Il présente au point où il les franchit, une inflexion (une courbe) et un minimum de profondeur. En 1904, entre la Maine et Nantes, il y avait 128 inflexions ou sinuosités qui divisaient le fleuve en un même nombre de biefs (bassins) de 650 mètres de longueur en moyenne. »**



Le plan (1 fig. 17) montre la situation existante en 1904 sur une section d'une longueur de 3 km de la section d'essai (avant sa chenalisation) entre l'extrémité de la Guillemette et le pont de l'Alleud, le tracé sinueux du chenal et les cotes existant dans les points les plus hauts. Le passage des bateaux de 1 m de calaison avec 0,20 m de pied de pilote n'était possible en année moyennement sèche que 200 jours par an.

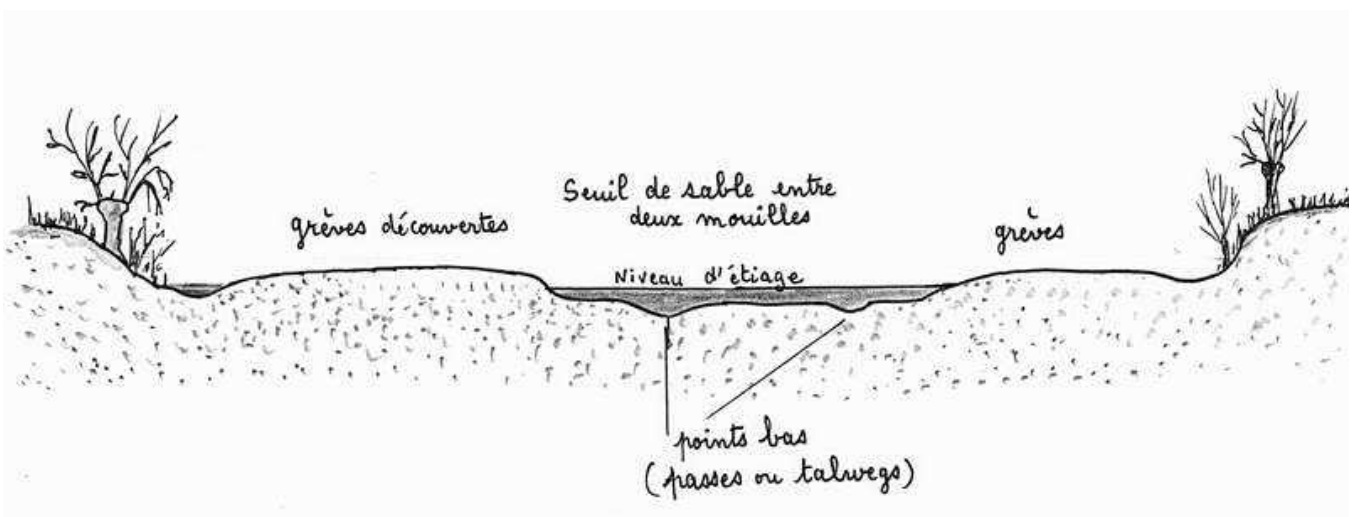
Profil longitudinal représentant schématiquement l'alternance de seuils et de mouilles



« **L'eau s'écoule d'une mouille à l'autre en franchissant les seuils sur lesquels la pente se concentre entièrement. La chute au droit de chacun d'eux est de 0 m. 10 environ. »**

* donc 128 seuils x 0,10 m = 12,80 m, à comparer avec la cote zéro de la Pointe à la confluence de la Maine située à l'altitude de 13,69 m cote IGN69...

« **Leur crête (des seuils) n'est pas horizontale. Elle présente des points où l'eau passe en plus grande abondance et sous une plus grande hauteur. Ces points bas, en plus ou moins grand nombre, correspondent à plusieurs talwegs. La navigation emprunte l'un d'eux, mais pas toujours le plus profond, en raison de la raideur des contours et de la difficulté des manoeuvres. »**



Croquis d'après les informations de Kauffmann

Vitesses du courant

La vitesse du courant était **beaucoup moins rapide qu'actuellement** :

En petite crue (+ 1,86 m à Montjean), on a constaté les vitesses suivantes :

- 3,9 km/h dans le grand bras de la Possonnière
- 3,5 km/h et 3,8 Km/h dans le petit bras de Chalennes

En crue moyenne (+ 3 m à Montjean), on a observé :

- 4,5 km/h devant la Possonnière
- 3,8 km/h dans le petit bras de Chalennes

En eaux moyennes et en grandes crues, elle ne dépasse pas 1,5 m/s (5,4 km/h). Selon d'autres sources plus empiriques, il était affirmé que la Loire en crue « ne dépassait jamais la vitesse du pas d'un homme »...

A l'étiage, cette vitesse dans les mouilles est « insignifiante » de l'ordre de 0,60 à 0,80 m/s dans les grands bras et de 1 m/s dans les petits bras. Sur les seuils, elle peut atteindre 1 m/s (3,6 km/h).

* Aujourd'hui, aux étiages, le mètre seconde est une valeur minimale même dans les secteurs les plus calmes, la vitesse atteignant le plus souvent 5 à 6 km/h (1,5 m/s) avec des maxima de 9 à 10 km/h (2,5 à 3 m/s) dans les petits bras (St Florent) et au droit des ouvrages d'art (pont de l'Alleud)... A l'aval d'Ancenis, dans le bassin de marée, les courants de flot et de jusant viennent encore accroître ces valeurs...

Déformation du lit, transport du sable, sédimentation

Kauffmann définit trois lits :

- **le lit majeur** compris entre les côteaux (ou les digues insubmersibles quand elles existent)
- **le lit moyen** délimité par les crêtes des rives, « les chantiers » à une cote comprise entre +3,50 m et 4,50 m au-dessus de l'étiage et correspondant au plenissimum flumen (limite de débordement). Sa largeur est de 500 m environ. Lorsqu'il y a des îles, la largeur cumulée des bras descend rarement au-dessous de ce chiffre.
- **le lit mineur** ou lit d'étiage

« Les berges du lit moyen sont fréquemment attaquées, mais ces attaques assez limitées ne changent pas la physionomie générale du tracé des rives. »

Au contraire, le lit mineur, composé de sable entraîné dès que la vitesse du courant dépasse 1 mètre à la seconde, a un aspect qui est loin d'être constant. »

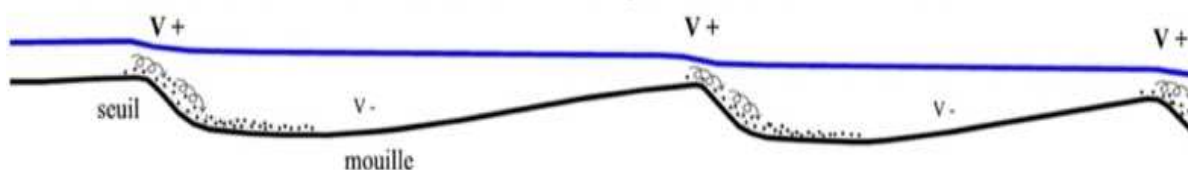
Contrairement aux théories développées à l'époque sur le déplacement continu du sable sans règle apparente, Kauffmann a cherché à comprendre « le mécanisme de ce déplacement » en prenant en compte non seulement la hauteur des eaux et la pente générale de la vallée, mais aussi « des circonstances locales, telles que la nature des rives, leurs courbures, les dimension du lit majeur et ses formes etc... » Il pense que les phénomènes de sédimentation dépendent non seulement de la vitesse du courant, mais encore des inflexions et des concavités du cours ainsi que des différences de vitesse entre les hauts fonds et les bas fonds.

Le mécanisme du déplacement du sable selon Kauffmann

A- En basses eaux, la pente dans les mouilles étant très faible, elle est donc concentrée sur les seuils où les vitesses maxima entraînent des érosions et des dépôts modérés dans la mouille suivante...

Aux basses eaux, sédimentation naturelle dans le lit d'étiage :

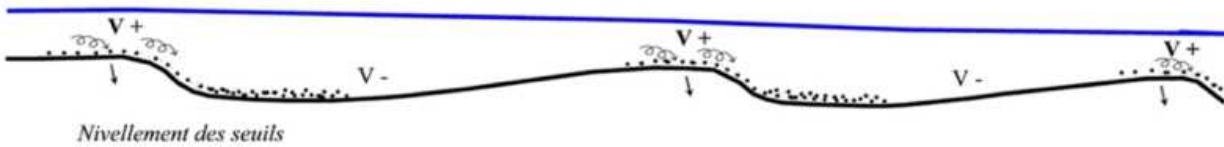
> Erosions au droit des seuils où la vitesse (V+) est maximale et dépôts modérés dans les mouilles (V-)



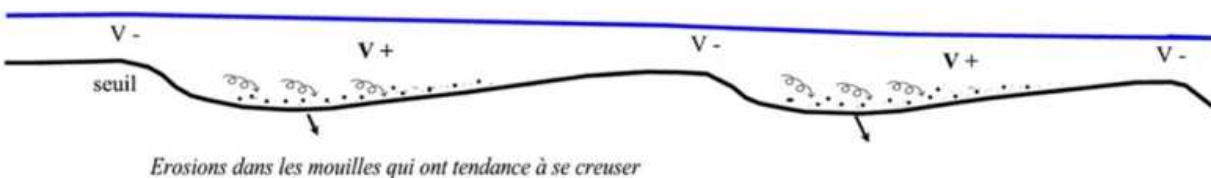
B- En période de hautes eaux, la pente sur les seuils tend d'abord à diminuer par un effet de nivellement dû à l'action du courant, les frottements provoqués par les hauts fonds diminuent, ce qui accroît la vitesse dans les mouilles. Quand cette vitesse devient supérieure à celle des seuils, les mouilles ont alors tendance à se creuser, puis au-delà d'une certaine vitesse ($> 1 \text{ m/s}$ à $1,5 \text{ m/s}$), le lit se creuse d'une façon générale et tout le sable en mouvement s'écoule de l'amont vers l'aval.

Aux hautes eaux, trois phases :

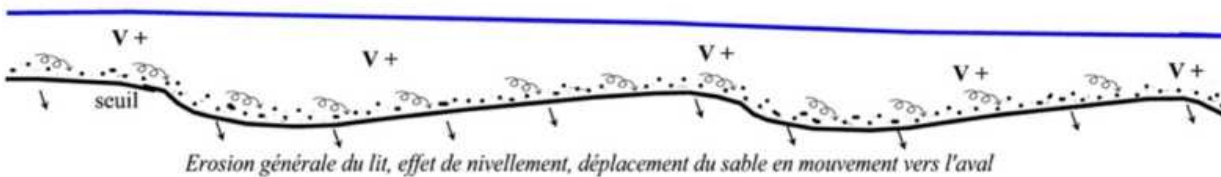
1- Effet de nivellement par le courant qui entraîne une diminution de la pente sur les seuils...



2- D'où un accroissement de la vitesse du courant dans les mouilles qui ont tendance à se creuser quand celle-ci devient supérieure à celle des seuils



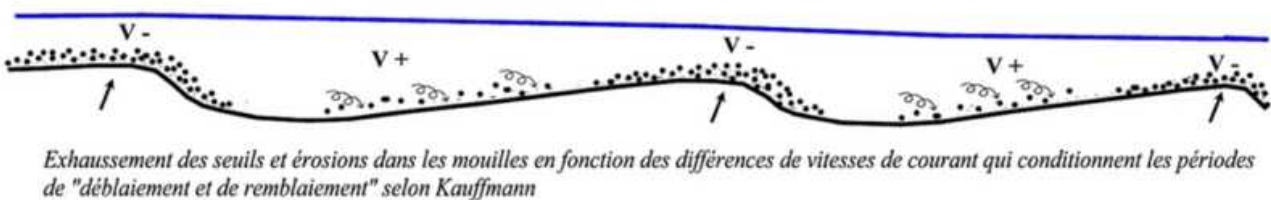
3- Au-delà d'un certain débit (fortes crues), creusement général du lit et déplacement de tout le sable en mouvement vers l'aval



C- A la décrue, la vitesse décroît plus vite au droit des seuils jusqu'à atteindre la limite de dépôt du sable. Les seuils se rechargent alors et s'exhaussent tant que la vitesse dans les mouilles est suffisante pour entraîner les matériaux... Puis les débits s'amenuisent, on se retrouve dans la situation des basses eaux décrite plus haut avec érosions sur les seuils et dépôts dans les mouilles... C'est donc au cours de la décrue que les phénomènes de sédimentation sont les plus importants. Ces phénomènes sont difficilement prévisibles car ce sont les débits, les différentes variations de niveau et leurs durées qui conditionnent les périodes de nivellement, de creusement dans les mouilles, d'érosion et d'exhaussement sur les seuils...

A la décrue, des phénomènes de sédimentation maxima

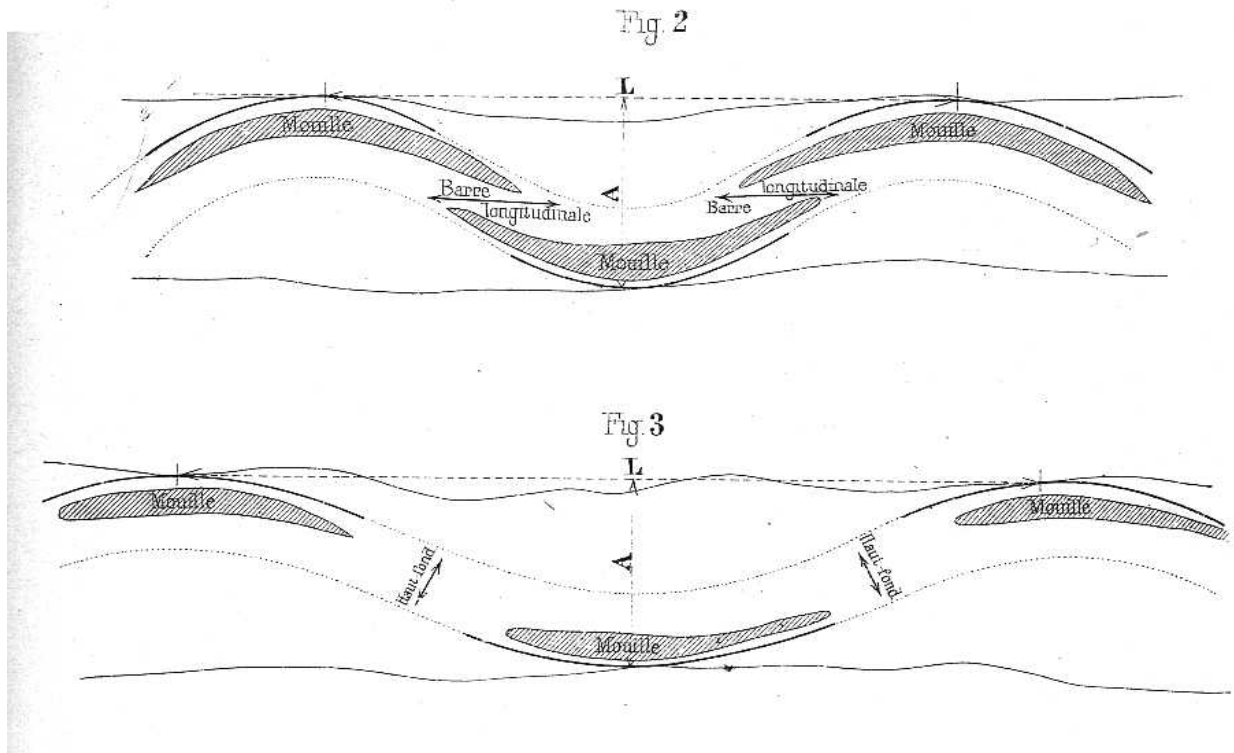
> Diminution de la vitesse du courant sur les seuils qui se rechargent dès que le dépôt du sable est possible (vitesse $< 1 \text{ m/s}$)



Permanence des emplacements des mouilles et des seuils

Toutes choses étant égales, les mouilles et les maigres ont une tendance certaine à ne point changer sensiblement de place ; ils doivent théoriquement osciller autour d'une position moyenne. Cette conclusion est confirmée par l'étude des plans de sondages successifs. Il ne se produit pas de mouvement général des grèves de l'amont vers l'aval. La cote critique d'entraînement des matériaux correspondait à la cote + 1 m / +1,50 m.

Kauffmann a tiré profit de ces observations sur les caractéristiques hydrologiques du fleuve (sinuosité, alternance de mouilles et de seuils, déplacement du sable) pour aménager la Loire Navigable de Montjean à Nantes. La courbure des concavités et leur espacement devaient correspondre à un certain rapport pour répondre aux objectifs de navigation, car il avait remarqué que l'accentuation des concavités agissait sur la profondeur des mouilles et le profil des seuils.



Le rapport entre L (distance entre deux ondes situées sur la même rive) et A (distance entre le sommet de l'onde opposée et la tangente des deux premières) devait être compris entre 4,5 et 8. Si on reste au-dessous de 4,5, le chenal est trop sinueux et il est à craindre que les deux mouilles successives chevauchent l'une sur l'autre et que l'on ait une barre horizontale comme sur le croquis de la figure 2. Si ce rapport est trop grand, les mouilles sont trop loin et on a un haut fond transversal. (Fig. 3).ci-dessus.

En grandeur nature :

A l'aval de la Meilleraie (Varades), le bras de l'île Moquart, en voie d'assèchement, permet d'observer l'alternance des mouilles d'une rive à l'autre et les hauts fonds ou « seuils » qui les relient dans le passage oblique du courant...



En conclusion

Même si certaines affirmations de Kauffmann sur le transport du sable peuvent paraître réductrices ou parfois inexactes, ses observations sur la « Loire sauvage » du début du XX^{ème} sont précieuses pour comparer les différences avec la Loire actuelle et entreprendre une restauration du fleuve dans le respect de ses caractéristiques hydrologiques.

Dans cette monographie de 1915, l'ingénieur Kauffmann rapporte que :

- **le niveau** ne descend au-dessous de la cote ZERO que 18 jours de l'année (5%) et qu'il se situe 211 jours au-dessus de 1 m (58%).
- **la vitesse du courant est inférieure à 1 m/s** dans les bras aux étiages et atteint 1 m/s au droit des seuils. En période de crue, la vitesse ne dépasse pas 1,5 m/s.
- **128 sinuosités et donc 128 seuils** existaient entre Bouchemaine et Nantes, divisant le fleuve en autant de biefs. Les seuils mobiles se forment au milieu des inflexions, la pente au droit des seuils est d'environ 10 cm.
- **le rechargement des seuils correspond aux périodes de décrues** et les différences de vitesses de courant sont déterminantes pour le processus « remblaiement / déblaiement ».

Seconde conclusion plus personnelle dans l'optique du projet de rééquilibrage de « l'estuaire amont »...

Suite à ces observations, il paraît essentiel d'agir en priorité sur la diminution de la vitesse du courant et l'augmentation de la charge sédimentaire pour favoriser la reconstitution de seuils mobiles au milieu de chaque inflexion. A cet effet, il est possible d'intervenir sur la largeur de la section d'écoulement, le nombre et la courbure des sinuosités, le frottement avec les berges et la rugosité des fonds, le profil de pente jusqu'au niveau de la mer...

> **Pistes à étudier** (liste non exhaustive !) :

- l'ouverture des anciens épis (actée)
- l'ouverture des bras secondaires
- l'accentuation des inflexions (nombre et courbure)
- le désenrochement de sections de rives
- la constitution de tapis d'enrochement dans le chenal (en rapport avec les inflexions)
- l'installation de peignes filtrants (idem)
- le rehaussement du chenal de Nantes...

** Présentation réalisée par Yves Ménanteau (Comité pour la Loire de Demain) pour la commission de travail du GIP Estuaire Amont - décembre 2008.*